

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ УПРАВЛІННЯ ЗА СИГНАЛЬНИМИ ГРУПАМИ

В. І. Єресов

Кандидат технічних наук, професор

Кафедра транспортних систем та

безпеки дорожнього руху

Національний транспортний університет

вул. Суворова, 1, м. Київ, Україна, 01010

E-mail: yera.post@gmail.com

В. Е. Трушевський

Старший викладач, аспірант

Кафедра транспортних технологій

Запорізький національний технічний

університет Національного

транспортного університету

вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя,

Україна, 69000

E-mail: aspirer@ya.ru

Проаналізовані принципи управління світлофорною сигналізацією «за фазами» та «за напрямками». Описано спосіб формування сигнальних груп на основі аналізу конфліктності напрямів світлофорного регулювання. Визначено підхід до оптимізації режимів світлофорного регулювання за такими критеріями: кількість сигнальних груп, тривалість світлофорного циклу, конфліктність напрямів регулювання

Ключові слова: світлофор, оптимізація, окремі напрями, сигнальна група, цикл, контроль, алгоритм

Проанализированы принципы управления светофорной сигнализацией «по фазам» и «по направлениям». Описан способ формирования сигнальных групп на основе анализа конфликтности направлений светофорного регулирования. Определен подход к оптимизации режимов светофорного регулирования по следующим критериям: количество сигнальных групп, продолжительность светофорного цикла, конфликтность направлений регулирования

Ключевые слова: светофор, оптимизация, отдельные направления, сигнальная группа, цикл, контроль, алгоритм

1. Вступ

Сьогодні одним з найбільш розповсюджених методів управління рухом автомобілів і пішоходів у містах є світлофорне регулювання (СФР), що забезпечує розподілення у часі конфліктних транспортних і пішохідних потоків. Світлофорна сигналізація являє собою основну форму обов'язкового до виконання інформаційного впливу на учасників руху. Інтелектуалізація засобів управління дорожнім рухом шляхом застосування сучасної обчислювальної техніки забезпечує реалізацію і вибір режимів роботи: зміну тривалостей циклу і фаз; зміну схем руху; перепускання та виклик фаз; формування сигналів для пріоритетного проїзду; тощо.

Відомі два ключові принципи, управління світлофорною сигналізацією [1]: «за фазами» (тактами) і «за напрямками» (сигнальними групами). Перший є класичним і полягає у тому, що цикл світлофорного регулювання розбивається на такти, що чергуються у визначеному наперед порядку, при цьому в кожному такті реалізується певна схема руху. При цьому окремі світлофори поєднуються за функціональними і електричними ознаками у так звані сигнальні групи (СГ), що протягом циклу перемикаються синхронно

і підпорядковуються одному спільному командному пристрою у дорожньому контролері (ДК). Кількість СГ у цьому випадку дорівнює кількості фаз регулювання.

При реалізації на регульованому перехресті принципу управління «за напрямками» («сигнальними групами») для кожного регульованого напрямку перехрестя виділяється своя власна сигнальна група (при безконфліктному регулюванні – світлофори типу 2, додаткові секції типу 1, світлофори типу 5, пішохідні світлофори), управління якою здійснюється індивідуально протягом всього циклу. Переключення «за напрямками» потребує застосування контролерів другого і третього покоління – ДКМ, ДК-МП, РЕ-2000, де для кожної сигнальної групи передбачено свій командний пристрій (кількість регульованих напрямків в сучасних ДК складає 8÷64). Принцип управління «за напрямками» застосовується для досить складних перехресть з смуговістю проїзних частин, як правило, не менше 6×6, зазвичай з проектуванням повної каналізації руху.

Режим світлофорного регулювання, що має оптимальну структуру та параметри, дозволяє забезпечувати мінімізацію тривалостей транспортних та пішохідних затримок, а також зменшення кількості

та тяжкості дорожньо-транспортних пригод в зоні регулювання.

Необхідно визначитися із вибором принципу управління на етапі проєтування світлофорного режиму, зважаючи на позитивні моменти і недоліки кожного з них та особливості визначення структури і параметрів циклу регулювання при виборі одного з методів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми дослідження

Принцип управління за сигнальними групами набагато гнучкіший, ефективніший і безпечніший у плані організації дорожнього руху. Треба зазначити, що при цьому принципово можливим стає незалежне і навіть індивідуальне управління кожним каналом руху на перехресті. Це означає, що кожний канал може характеризуватися індивідуальною тривалістю основних і додаткових тактів, а також і циклу обслуговування у залежності від умов руху. Такий принцип відкриває нові можливості для удосконалення і реалізації сучасних технологій управління дорожнім рухом. Цілком зрозуміло, що таке управління є вельми перспективним і повинно розвиватися, але цьому заважає низка обставин.

По-перше, з аспекту безпеки руху виникає задача оптимізації самої кількості сигнальних груп. Така задача може бути вирішена на базі топографічного аналізу траєкторій учасників руху на перехресті і адекватного кількісного аналізу гіпотетичного ступеня конфліктності транспортних і пішохідних потоків на перехресті з урахуванням характеристик транспортних потоків і дорожніх умов.

По-друге, як це доведено у [2], виникає задача мінімізації сумарної тривалості перехідних інтервалів, що пов'язана з черговістю фаз регулювання.

По-третє, необхідно розробити методики розрахунку тривалостей основних тактів і циклів регулювання у залежності від умов руху і завантаження напрямків, оскільки за нормативною методикою такі розрахунки принципово неможливі, а в існуючій літературі методика розрахунку режимів СФР «за окремими напрямками» або взагалі відсутня, або знов-таки, являє інженерно-інтуїтивні пропозиції [1].

Вищевикладене дозволяє визначити проблему, відсутності алгоритмізованого теоретичного підходу до розрахунку режимів СФР, здатних реалізувати принцип управління «за напрямками». Означена проблема має кілька аспектів.

1. Формалізація вихідних даних.

2. Оптимізація формування сигнальних груп.

3. Оптимізація чергування сигнальних груп.

4. Оптимізація тривалості тактів і циклу світлофорного регулювання.

5. Алгоритмізація розрахунків.

Аспект формалізації вихідних даних є, мабуть, найпростішим серед сформульованих, оскільки серед літературних джерел існує багато прийнятих рекомендацій. Для зручності формалізації та проведення математичних операцій обрано матричну форму представлення схеми руху на перехресті, запропоновану в [3]. Матриця має розмірність $i \times j$, де i – кількість вхідних напрямків. При цьому транспортні і пішохідні напрямки позначаються в вихідній матриці номерами відповідних рядків і стовпців, кожна клітинка такої матриці відповідає певним видам конфліктів між траєкторіями маневрів на перехресті.

Оскільки при реалізації принципу «за напрямками», з одного боку, необхідно мінімізувати цикл регулювання, а з іншого – мінімізувати імовірності можливих конфліктів при роз'їзді, найперше треба кількісно оцінити ступені конфліктності окремих маневрів на перехресті з метою подальшої синхронізації чи розділення окремих сигнальних груп, а також з метою оптимізації їх кількості.

Треба зазначити, що аспекти 1–3, розроблялися раніше і висвітлені в [2, 3]. У цьому плані пропонується використання методики розрахунків, розробленої одним з авторів статті, що описана в [2].

Окремий аспект являє композиція і розрахунок елементів світлофорної сигналізації у загальному циклі регулювання, що, як вже згадувалось, не є можливим шляхом застосування нормативної методики.

Згідно з викладеними в нормативних актах України положеннями сформульований порядок розрахунку світлофорних об'єктів може бути представлений у вигляді такої послідовності процедур (рис. 1).

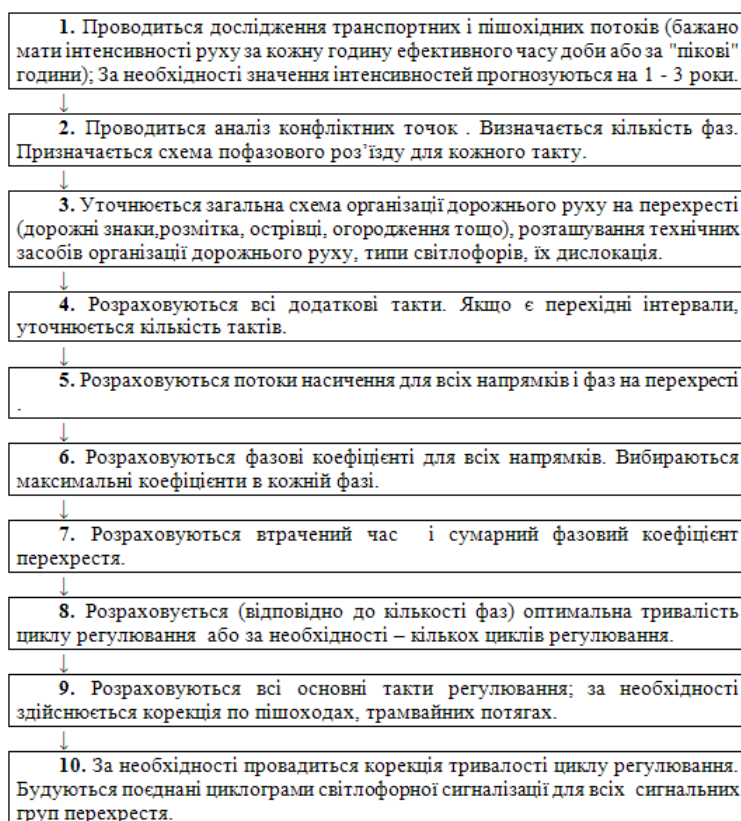


Рис. 1. Існуючий розрахунок параметрів світлофорних циклів

Головна неув'язка полягає у тому, що насамперед розраховується тривалість циклу світлофорного регулювання, а потім цей час розподіляється по фазах між учасниками руху пропорційно величинам завантаження відповідних напрямків. При управлінні ж за напрямками на стадії розрахунків повинна проводитися мінімізація загального часу обслуговування усіх напрямків (суперциклу) шляхом поєднання в тактах різних комбінацій окремих сигнальних груп, тому тривалість циклу заздалегідь невідома, а тривалості тактів – навпаки повинні бути визначені [4, 5].

У цьому плані має сенс звернути увагу на низку публікацій, що стосуються розробок технологій управління СФР і опубліковані у різний час вітчизняними і закордонними авторами. Такою, наприклад, є експрес-методика, описана в [6], що широко застосовується у країнах Північної Америки. Методика використовує принцип ситуаційного управління і містить масиви заздалегідь розрахованих значень тривалостей сигналів для забезпечення 95-відсоткової ймовірності того, що всі транспортні засоби, які прибувають до перехрестя, можуть звільнити його протягом наступного зеленого сигналу. Вхідними величинами є рівні завантаження напрямків перехрестя, а вихідними – необхідні і достатні тривалості тактів регулювання.

3. Ціль та задачі дослідження

Зважаючи на викладене, необхідно сформулювати порядок визначення режиму світлофорного регулювання при здійсненні управління за сигнальними групами.

Для цього слід визначити підхід до формування оптимальної структури світлофорного циклу, а також порядок розрахунку його параметрів, що залежать від характеристик елементів вулично-дорожньої мережі в зоні здійснення світлофорного регулювання, характеристик транспортних і пішохідних потоків, що регулюються, а також від обраної структури циклу світлофорного регулювання.

4. Управління світлофорною сигналізацією за сигнальними групами

Структура світлофорного циклу – це послідовність, у якій напрями регулювання входять до циклу. Напрями регулювання, за якими траєкторії руху транспорту і пішоходів не мають небезпечних конфліктів між собою, можуть вводитися до структури циклу одночасно.

З метою кількісної оцінки конфліктності маневрів, подальшого розділення чи поєднання окремих маневрів формується матриця коефіцієнтів конфліктного завантаження (МКЗ).

Кожен елемент такої матриці характеризує конфліктність сполучень транспортних та пішохідних потоків [3].

Значення кожного елемента матриці дорівнює коефіцієнту конфліктності γ_{kk} , що вираховується відповідно типам конфліктних точок у схемі роз'їзду та інтенсивностями транспортних та пішохідних потоків за формулою

$$\gamma_k = \sum_{i=1}^m K_j \left[\frac{N_{li} N_{2i}}{(N_{li} + N_{2i})^2} \right], \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, m$ – номер і загальна кількість конфліктних точок у вузлі; K_j – коефіцієнт ваги конфліктної точки; $j = a, b, c, d, e, f, g, h$ – індекс типу конфліктної точки; N_{li} – інтенсивність руху на першому напрямку конфліктної точки; N_{2i} – інтенсивність руху на другому напрямку конфліктної точки.

Далі, аналізуючи МКЗ, знаходять мінімальні значення γ_{kk} , що дозволяє синхронізувати або ж поєднати у сигнальні групи найменш конфліктні напрямки. Таке поєднання за рахунок зменшення кількості одночасно ввімкнених дозволяючих сигналів призводить до збільшення кількості сигнальних груп, яке може дорівнювати сумарній кількості транспортних і пішохідних напрямків, що, в свою чергу веде до зростання затримок учасників дорожнього руху перед стоп-лініями. Тому необхідно водночас прагнути до зменшення кількості сигнальних груп $K_{ст}$.

В якості ваги критерію γ_{kk} доцільно прийняти середньорічні збитки від ДТП, що сталися у конфліктних точках, які розглядаються. В якості ваги критерію $K_{ст}$ варто прийняти вартість транспортних та пішохідних затримок перед перехрестям.

У цьому випадку максимальні значення розрахованих фаз для усіх напрямків перехрестя, що характеризуються максимальними значеннями γ_{kk} , визначають кількість основних фаз у циклі СФР. При цьому можлива також оптимізація завдяки варіантам чергування поєднаних сигналів, наприклад: 1-3-5-7-9-11-13-15 чи 1-5-11-9-13-15-3-7 чи ін., що також слід мати на увазі, бо при цьому зменшується непродуктивний втрачений в циклі час L . Цей процес може бути проведений за алгоритмом, описаним в [6, 7].

Отже, наведений спосіб дозволяє кількісно аналізувати ступінь конфліктності у залежності від виду маневру та інтенсивностей потоків, що конфліктують, що, у свою чергу, дозволяє оптимізувати структуру циклу регулювання за критерієм мінімальної конфліктності. Мінімальна конфліктність режиму забезпечується врахуванням восьми типів конфліктних точок між транспортними і пішохідними потоками, а також впливу інтенсивності руху транспорту і пішоходів.

Для формування циклу СФР необхідно мати розраховані тривалості усіх транспортних і пішохідних фаз, що може здійснюватись за допомогою методики [4] у випадку визначення еквівалентної інтенсивності з врахуванням дозволених маневрів для усіх вхідних напрямків перехрестя [8, 9].

Окрему складну задачу становить синтез циклограм сигналізації для кожної з вибраних сигнальних груп. Наприклад, для 4-х сигнальних груп ці циклограми можуть мати вигляд, що наведений на рис. 2.

Очевидно, що тривіальне рішення може бути отримане шляхом послідовного сполучення графіків усіх СГ вздовж осі t . Але при цьому тривалість циклу регулювання буде максимальною з можливих, оскільки вона визначається максимальними (в кожній СГ) тривалостями дозволяючих сигналів. Тому, враховуючи різночасовість ввімкнення сигналів на різних

напрямах однієї СГ, можна дозволяти рух на тих напрямках наступної СГ, які мінімально конфліктують з ще діючими сигналами попередньої СГ згідно МКЗ перехрестя. Таким чином комбінуванням черговості сигналів послідовних СГ необхідно зменшити тривалість циклу до мінімальної [10, 11]. Наразі ця задача вирішується, як правило, топологічним шляхом [4], і потребує у подальшому автоматизації розрахунків на базі відповідних комбінаторних алгоритмів. На цьому етапі кількість і склад обраних СГ може коректуватися.

Наступна задача полягає в побудові поєданого часового графіка роботи сигнальних груп перехрестя (*циклограми сигнальних груп*) і схем роз'їзду ТЗ і пішоходів у тактах регулювання. На цьому етапі можливі висновки відносно удосконалення інженерно-планувальних характеристик ОДР на перехресті – введення додаткових смуг руху, заборона окремих маневрів з їх перенесенням в інше місце вулично-дорожньої мережі, рекомендації щодо будівництва підземних переходів, транспортних розв'язок, тощо [12].

Враховуючи вищевикладене, послідовність процедур при розрахунку режимів СФР за пропонованою методикою матиме наступний вигляд (рис. 3).

Запропонований алгоритм може бути застосований у автоматизованих системах управління дорожнім рухом та системах автоматизованого проектування організації дорожнього руху.

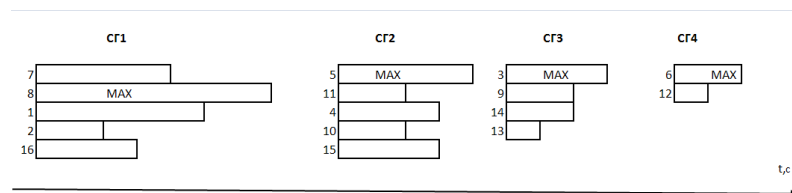


Рис. 2. Циклограми сигнальних груп

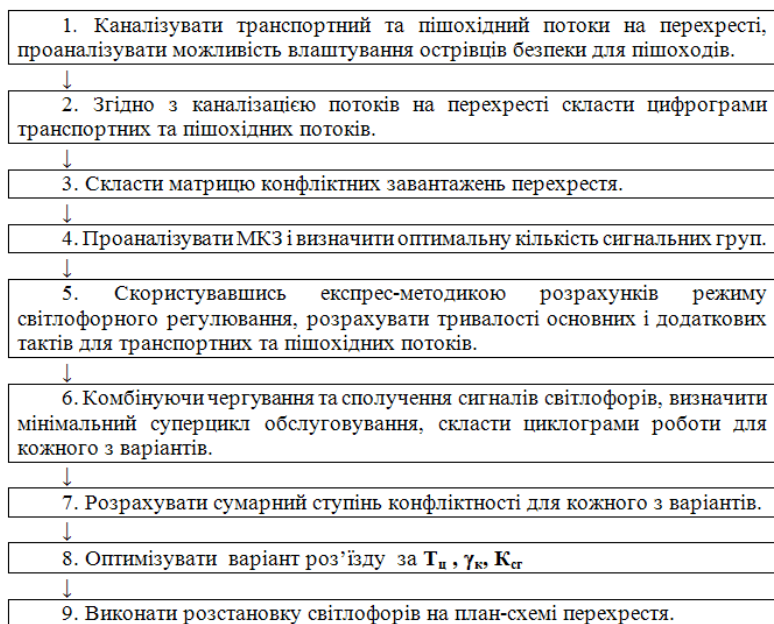


Рис. 3. Алгоритм розрахунку режимів СФР за сигнальними групами

5. Висновки

Сформовано у вигляді алгоритму порядок визначення режиму світлофорного регулювання при здійсненні управління за сигнальними групами.

Визначено підхід до формування оптимальної структури світлофорного циклу шляхом врахування індексу конфліктності маневрів, що входять до напрямів світлофорного регулювання. Мінімізація рівню конфліктності напрямів, що їх разом включено до структури світлофорного циклу призведе до зниження аварійності.

Також визначено порядок розрахунку елементів світлофорного циклу при здійсненні управління за сигнальними групами для оптимізованої структури світлофорного циклу.

Література

1. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст] : учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
2. Єресов, В. І. Конфліктні ситуації та безпека руху пішоходів [Текст] / В. І. Єресов, Я. В. Рябець // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник. – 2001. – № 2 (10). – С. 24–30.
3. Єресов, В. І. Мінімізація суми перехідних інтервалів при управлінні за сигнальними групами [Текст] : зб. наук. пр. Міжн. наук. конф. / В. І. Єресов, Л. А. Пономаренко // «Транспорт + логістика 2006». – Київ, 2006.
4. Sacks, G. Impact of front-of-pack 'traffic-light' nutrition labelling on consumer food purchases in the UK [Текст] / G. Sacks, M. Rayner, B. Swinburn // Health promotion international. – 2009. – Vol. 24, Issue 4. – P. 344–352. <http://dx.doi.org/10.1093/heapro/dap032>
5. Tubaishat, M. Adaptive traffic light control with wireless sensor networks [Text] / M. Tubaishat, Y. Shang, H. Shi // Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2007. – P. 187-191
6. Капитанов, В. Т. Управление транспортными потоками в городах [Текст] / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
7. Лазарева, Т. Я. Основы теории автоматического управления [Текст] / Т. Я. Лазарева, Ю. Ф. Мартемьянов. – Тамбов.: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 352 с.
8. Ренкин, В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения [Текст] : справочник / В. У. Ренкин, П. Клафи, С. Халберт; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
9. Иносе, Х. Управление дорожным движением [Текст] / Х. Иносе, Т. Тамада. – М. Транспорт, 1983. – 247 с.
10. Левашев, А. Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. Пособие [Текст] / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

11. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах [Текст] // Москва: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 69 с.
12. Левашев, А. Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях [Электронный ресурс] / А. Г. Левашев, А. Ю Михайлов // Материалы XI международной (четырнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Режим доступа: http://towntraffic.narod.ru/Russian/Streets_net/2005/lev.htm

Виконано аналітичний огляд існуючих моделей та методів розв'язання прикладних задач. Розроблено та досліджено систему нечітких правил продукції для керування складними об'єктами. Модифіковано метод надшвидкого відпалу для настройки параметрів отриманої нечіткої системи. Експериментом підтверджено адекватність та ефективність теоретичних положень роботи. Визначено перспективні напрямки досліджень та шляхи адаптації до предметних галузей

Ключові слова: мобільний об'єкт, функція інтелектуального керування, правила продукції, надшвидкий відпал, модифікація

Выполнен аналитический обзор существующих моделей и методов решения прикладных задач. Разработана и исследована система нечетких правил продукции для управления сложными объектами. Модифицирован метод сверхбыстрого отжига для настройки параметров полученной нечеткой системы. Экспериментом подтверждена адекватность и эффективность теоретических положений работы. Определены перспективные направления исследований и пути адаптации к предметным областям

Ключевые слова: мобильный объект, функция интеллектуального управления, правила продукции, сверхбыстрый отжиг, модификация

УДК 004.891.3

РАСШИРЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Е. И. Кучеренко

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: ai@kture.kharkov.ua

А. Д. Дрюк

Аспирант*

E-mail: sanya40@ukr.net

*Кафедра искусственного интеллекта

Харьковский национальный

университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

В последние годы возрос интерес к мобильным мехатронным системам, что связано как с практической необходимостью использования таких систем для целей проведения работ в средах, недоступных для человека, так и с необходимостью изучения интеллектуальных способностей технических систем. Мобильные мехатронные системы (мобильные роботы) начинают использоваться с целью диагностики неисправностей протяжённых и высотных объектов, мониторинга окружающей среды, поиска объектов в труднодоступных местах, доставки грузов на производствах и т. д.

Большинство существующих систем, функционирующих в условиях существенной неопределённости и динамичности окружающей среды, работают под управлением оператора по каналу связи и не способны действовать самостоятельно [1].

Для реализации на существующих платформах перспективных подходов к построению адаптивных систем необходима разработка алгоритмов адаптивно-

го поведения и управления объектом с учётом вычислительной производительности встраиваемых приложений [2].

В связи с этим, тема научных исследований является важной и актуальной.

2. Постановка проблемы, цель и задачи исследования

Целью работы является разработка и исследование методов управления мобильными объектами типа «робот-манипулятор» на основе нахождения множества локальных минимумов с последующим выбором оптимальных решений.

Пусть территория производственного помещения представляет собой прямоугольное поле, разбитое на единичные клетки. На этой территории находится L грузов и K мобильных объектов, способных погрузить, разгрузить и перемещать грузы.

В связи с завозом партии из L_1 грузов требуется переместить $L_2 \subseteq L$ грузов в другие клетки, используя мобильные объекты. При этом все время выполнения